

TNO-rapport  
PML 1998-A72

## Afvalwaterzuivering in legerkampementen

TNO Prins Maurits Laboratorium

Lange Kleiweg 137  
Postbus 45  
2280 AA Rijswijk

Telefoon 015 284 28 42  
Fax 015 284 39 63

Datum  
juni 1999

Auteur(s)  
Dr. ir. P. Brasser  
S.C. van Swieten

19990908 036

Rubricering  
Vastgesteld door : Drs. H. Jager  
Vastgesteld d.d. : 4 juni 1999  
(De rubricering wijzigt niet)

Titel : Ongerubriceerd  
Managementuitreksel : Ongerubriceerd  
Samenvatting : Ongerubriceerd  
Rapporttekst : Ongerubriceerd

Alle rechten voorbehouden.  
Niets uit deze uitgave mag worden  
vermenigvuldigd en/of openbaar  
gemaakt door middel van druk, foto-  
kopie, microfilm of op welke andere  
wijze dan ook, zonder voorafgaande  
toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd  
uitgebracht, wordt voor de rechten en  
verplichtingen van opdrachtgever en  
opdrachtnemer verwezen naar de  
Algemene Voorwaarden voor Onder-  
zoeksopdrachten aan TNO, dan wel  
de betreffende terzake tussen de  
partijen gesloten overeenkomst.  
Het ter inzage geven van het  
TNO-rapport aan direct belang-  
hebbenden is toegestaan.

Exemplaar nr. : 11  
Oplage : 21  
Aantal pagina's : 20 (excl. RDP & distributielijst)  
Aantal bijlagen : -

**DISTRIBUTION STATEMENT A**  
**Approved for Public Release**  
**Distribution Unlimited**

© 1999 TNO

**DTIC QUALITY INSPECTED 4**

TNO Prins Maurits Laboratorium is onderdeel  
van de hoofdgroep TNO Defensieonderzoek  
waartoe verder behoren:

TNO Fysisch en Elektronisch Laboratorium  
TNO Technische Menskunde



AQ F99-12-2249

Nederlandse Organisatie voor toegepast-  
natuurwetenschappelijk onderzoek TNO

## Managementuittreksel

Titel : Afvalwaterzuivering in legerkampementen  
Auteur(s) : Ir. P. Brasser en S.C. van Swieten  
Datum : juni 1999  
Opdrachtnr. : A97KL513  
Rapportnr. : PML 1998-A72

In het kader van het project waterzuivering, contractnummer A97KL513, adviseert en ondersteunt TNO-PML de DMKL op het gebied van:

- bereiding van drinkwater onder noodomstandigheden;
- afvalwater te velde.

Het project waterzuivering heeft vooral tot doel om op de hoogte te blijven van nieuwe ontwikkelingen in de genoemde gebieden. Dit kan zowel door literatuuronderzoek als door marktonderzoek plaatsvinden. Met behulp van de aldus opgebouwde kennis kan advies uitgebracht worden aan de DMKL bij selectie en implementatie van bruikbare technieken op de genoemde gebieden.

In het verleden is door TNO Prins Maurits Laboratorium (TNO-PML) vooral onderzoek gedaan op het gebied van het eerste punt, drinkwatervoorziening. Het tweede punt is minder bestudeerd. Gezien het verscherpte milieubeleid wordt verwacht dat de regelgevingen ten aanzien van afvalwater in de toekomst verscherpt zullen worden, waardoor de mogelijkheden van lozing in het veld steeds meer beperkt zullen worden. Alternatieve mogelijkheden zullen geselecteerd en mogelijk onderzocht moeten worden.

Legerkampementen produceren afval. Het afvalwater van deze kampementen wordt vaak direct geloosd in het milieu. Dit kan gebeuren door het lozen in een bezinkput of door het lozen in nabijgelegen oppervlaktewater. Tot nu toe is weinig aandacht besteed aan het milieu wat betreft deze lozingen. Hoewel deze lozingen op dit moment nog wel wettelijk toegestaan zijn, is het toch nuttig om te kijken, of wat aan deze afvalwaterlozingen gedaan kan worden.

Een mogelijke optie zou bijvoorbeeld kunnen zijn om het afvalwater op te vangen en vervolgens met behulp van tankwagens af te voeren naar de dichtstbij gelegen afvalwaterreiniging.

Een andere mogelijkheid is, om dit afvalwater 'on-site' te zuiveren. Het gezuiverde water moet dermate schoon zijn, dat het direct in de omgeving geloosd kan worden. Het afgevangen vuil kan dan getransporteerd worden naar een zuiveringsinstallatie voor verdere verwerking.

In dit rapport is een proces van een verplaatsbare afvalwaterzuivering aanbevolen, die het afvalwater van legerkampementen kan zuiveren tot een dusdanig niveau dat het water ook volgens strengere milieunormen in de omgeving geloosd mag worden. Dit proces bestaat uit achtereenvolgens flotatie, ultrafiltratie en omgekeerde osmose.

## **Samenvatting**

Afvalwater van legerkampementen wordt op dit moment direct in de omgeving geloosd. De omgeving van deze kampementen is dan ook vaak vervuild. Om die reden is een literatuurstudie gedaan naar de mogelijkheid een verplaatsbare waterzuiveringsinstallatie mee te nemen tijdens legeroefeningen. Een reeks van verschillende zuiveringstechnieken is bestudeerd.

Aan de hand van deze studie is een aanbeveling voor een mogelijk proces gegeven, dat het afvalwater zuivert tot een niveau, dat het geloosd mag worden in de omgeving. Deze opzet bestaat uit achtereenvolgens flotatie, ultrafiltratie en omgekeerde osmose. Het vuil wordt daarmee afgevangen en kan vervolgens getransporteerd worden naar de dichtstbijzijnde afvalverwerking.

## Inhoud

Managementuittreksel .....	2
Samenvatting .....	3
1      Inleiding .....	5
2      Afvalwatersamenstelling .....	6
2.1      Mate van vervuiling .....	6
2.2      Watersamenstelling .....	7
3      Behandelingsmethoden .....	8
3.1      Afvalwatertransport .....	8
3.2      Afvalwaterzuivering .....	8
4      Discussie en aanbeveling .....	16
5      Literatuur .....	18
6      Ondertekening .....	20

## 1 Inleiding

In het kader van het project waterzuivering adviseert en ondersteunt TNO Prins Maurits Laboratorium (TNO-PML) de DMKL op het gebied van:

- bereiding van drinkwater onder noodomstandigheden;
- afvalwater te velde.

Het project waterzuivering heeft vooral tot doel om op de hoogte te blijven van nieuwe ontwikkelingen in de genoemde gebieden. Dit kan zowel door literatuuronderzoek als door marktonderzoek plaatsvinden. Met behulp van de aldus opgebouwde kennis kan dan advies uitgebracht worden aan de DMKL bij selectie en implementatie van bruikbare technieken op de genoemde gebieden.

In het verleden is door TNO-PML vooral onderzoek gedaan op het gebied van het eerste punt, drinkwatervoorziening. Het tweede punt is minder bestudeerd. Gezien het verscherpte milieubeleid wordt verwacht dat de regelgevingen ten aanzien van afvalwater in de toekomst verscherpt zullen worden, waardoor de mogelijkheden van lozing in het veld steeds meer beperkt zullen worden. Alternatieve mogelijkheden zullen geselecteerd en mogelijk onderzocht moeten worden.

Legerkampementen produceren afval. Het afvalwater van deze kampementen wordt vaak direct geloosd in het milieu. Dit kan gebeuren door het lozen in een bezinkput of door het lozen in nabijgelegen oppervlaktewater. Tot nu toe is weinig aandacht besteed aan het milieu wat betreft deze lozingen. Hoewel deze lozingen op dit moment nog wel wettelijk toegestaan zijn, is het toch nuttig om te kijken of wat aan deze afvalwaterlozingen gedaan kan worden. In principe zijn er twee alternatieven denkbaar voor de lozing van afvalwater.

Een mogelijke optie zou bijvoorbeeld kunnen zijn om het afvalwater op te vangen en vervolgens met behulp van tankwagens af te voeren naar de dichtstbij gelegen afvalwaterreiniging. Afhankelijk van de grootte van het kampement, zal dit veel transportkosten met zich mee brengen.

Een andere mogelijkheid is het afvalwater on-site zuiveren. Het gezuiverde water moet dermate schoon zijn, dat het direct in de omgeving geloosd kan worden. Het afgevangen vuil kan dan getransporteerd worden naar een zuiveringsinstallatie voor verdere verwerking. De transportkosten zijn hierbij veel kleiner.

Het doel van dit rapport is, indien on-site zuiveren haalbaar is, een voorstel te doen voor een mogelijk proces van deze (verplaatsbare) waterzuiveringsinstallatie.

## **2 Afvalwatersamenstelling**

### **2.1 Mate van vervuiling**

Vuil in water kan variëren van samenstelling. Afvalwater van keukens en waswater bevat vaak vooral organische vervuiling. De hoeveelheid organisch materiaal in water wordt vaak uitgedrukt in de benodigde hoeveelheid zuurstof voor de oxidatie van het materiaal tot  $\text{CO}_2$ . Deze benodigde hoeveelheid zuurstof is daarmee een maat voor de vervuilingsgraad. Voor deze mate van vervuiling wordt een aantal verschillende definities gebruikt.

#### **BZV<sub>5</sub>**

Het biologisch zuurstofverbruik (BZV, BOD) is gedefinieerd als de hoeveelheid zuurstof die opgenomen wordt door biomassa in 5 dagen. Hierbij wordt het watermonster geïncubeerd bij 25 °C in het donker.

#### **CZV**

Het chemisch zuurstofverbruik (CZV, COD) is gedefinieerd als de hoeveelheid zuurstofequivalent, die nodig is om via chemische oxidatie de organische materialen om te zetten in  $\text{CO}_2$ . Het oxideren gebeurt niet met pure zuurstof maar met dichromaat. Het hexavalente chroom reageert met drie elektronen tot trivalent chroom. De hoeveelheid zuurstofequivalent wordt berekend op basis van het feit dat elke mol zuurstof 4 mol elektronen nodig heeft voor de vorming van  $\text{CO}_2$ .

#### **TOC**

Total organic carbon wordt ook vaak als maat voor vervuiling gebruikt. Deze waarde staat voor de totale hoeveelheid aanwezig organische koolstof in het water. Hij wordt gemeten door alle aanwezig organische materialen te verbranden onder vorming van  $\text{CO}_2$ . Deze hoeveelheid  $\text{CO}_2$  wordt gemeten. Hierbij moet wel rekening gehouden worden met het in het water aanwezige  $\text{CO}_2$ .

#### **DOC**

Dissolved organic carbon heeft veel weg van TOC, maar hier worden alleen de opgeloste organische materialen gemeten. Dus watervervuiling zoals bijvoorbeeld vlokken valt hier niet onder.

#### **Inwonerequivalent**

Een inwonerequivalent is gelijk aan 136 gram zuurstofverbruik van het afvalwater van een persoon per etmaal. Het is te verdelen in 94 gram chemisch zuurstof verbruik (CZV, COD) en 42 gram Nkj (Kjedahl stikstof: ammonium + organisch gebonden stikstof).

## 2.2 Watersamenstelling

Afvalwater van legerkampementen bestaat voornamelijk uit keukenafvalwater en uit afvalwaswater. Als richtlijn is hier het afvalwater van huishoudens genomen. Afvalwater van huishoudens kan verdeeld worden in verschillende stromen. De volgende stromen kunnen genoemd worden.

### Fysiologisch afvalwater

Dit is afvalwater van toiletten.

### Vloeibaar keukenafval

Dit afvalwater wordt vaak grijs afvalwater genoemd. Dit bestaat uit water dat veel organisch afval bevat. Ook bevat het vaak nog vast afval, maar dat is te verminderen door minder kookafval door de gootsteen te spoelen.

Na behandeling van dit grijze afvalwater kan het eventueel gebruikt worden als spoelwater van toiletten of voor irrigatie.

### Was en badwater

Dit is relatief vrij schoon afvalwater. Dit water kan vaak direct gebruikt worden voor irrigatie. Ook kan het gebruikt worden als spoelwater van toiletten.

De vervuiling van de verschillende afvalwaterstromen ziet er als volgt uit (tabel 1). Hierbij is ervan uitgegaan, dat het grove vaste afval al uit het water gezuiverd is.

Tabel 1: De vervuiling van de verschillende afvalwaterstromen van huisafvalwater (in g/(cap\*dag)) [1].

	Fysiologisch	Was	Keuken	Bad	Totaal
COD	75	6	45	4	130
BOD	25	3	30	2	60
Stikstof	11	0,5	1	0,5	13
Fosfor	2	0,1	0,2	0,2	2,5

In legerkampementen wordt vaak het fysiologische afvalwater apart verwerkt. Het afvalwater van legerkampementen dat gezuiverd moet worden, zal dan ook voornamelijk bestaan uit keukenafvalwater en afvalwater van was en badwater.

### **3 Behandelingsmethoden**

Er zijn twee mogelijkheden denkbaar voor de verwerking van afvalwater van legerkampementen. De eerste mogelijkheid is het afvalwater met trucks te vervoeren naar de dichtstbijzijnde afvalwaterzuivering. De andere mogelijkheid is het vuile water eerst in te dikken tot een slurrie, die vervolgens ook naar een vuilverwerkingfabriek gebracht kan worden. Het water dat bij het indikken vrijkomt, moet wel aan de gestelde milieueisen voldoen wat betreft vervuilingsgraad, omdat dit water in het milieu geloosd moet worden.

#### **3.1 Afvalwatertransport**

Het is mogelijk, om het afvalwater te transporteren met bijvoorbeeld een truck. Het afvalwater kan dan gebracht worden naar de dichtstbijzijnde afvalwaterzuivering. In normale huishoudens kunnen afvalwaterstromen in de orde liggen van 150 l/dag. Hoewel legerkampementen waarschijnlijk zuiniger met water omspringen, zal het duidelijk zijn dat afvalwatertransport alleen een optie is voor niet al te grote, tijdelijke kampementen.

#### **3.2 Afvalwaterzuivering**

Een afvalwaterzuivering bestaat vaak uit verschillende deeltappen. Er zijn specifieke deeltappen voor grove deeltjes, voor fijnere deeltjes en voor opgeloste stoffen. Per deeltap zijn er verschillende technieken mogelijk. In de volgende paragrafen wordt een aantal van deze technieken nader bekeken.

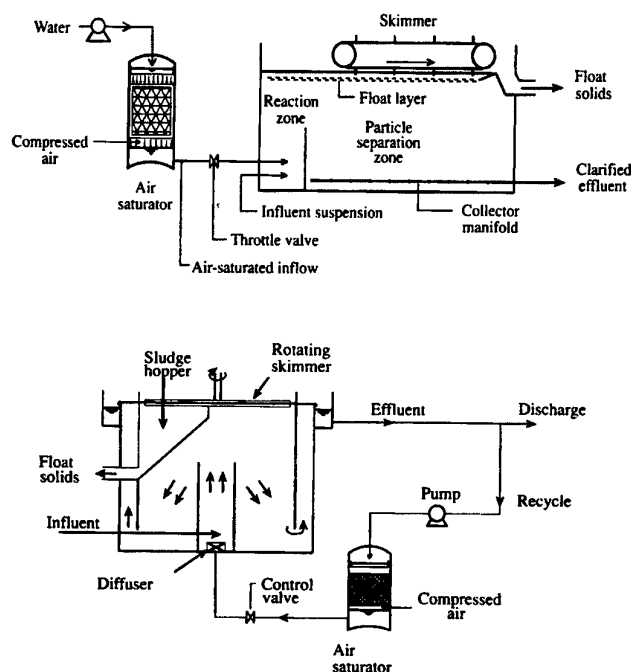
##### **3.2.1 Flocculatie**

Kleine vlokken die in het water aanwezig zijn (deze kunnen bijvoorbeeld gevormd zijn uit colloïdale oplossingen door pH-verandering, maar kunnen ook al in afvalwater aanwezig zijn), zijn te klein om direct af te vangen. Ze kunnen echter groeien in grootte door botsing met andere deeltjes. Deze botsingen worden veroorzaakt door Brownse beweging van die deeltjes (perikinetische flocculatie). Als de deeltjes groeien, neemt de invloed van Brownse bewegingen af zodat ook de groei van de deeltjes minder snel gaat. Deze groei kan versneld worden door snelheidsgradiënten in de vloeistof aan te leggen (orthokinetische flocculatie). Met andere woorden, door wervelingen te creëren, zullen de vlokken groeien. Het roeren van afvalwater bevordert dus de flocculatie. De gevormde vlokken kunnen in een andere sectie afgevangen worden [2].



### 3.2.2 Flotatie

Deeltjes die gesuspendeerd zijn in water zullen gaan drijven als het soortelijk gewicht lichter is dan dat van het water. Door deze deeltjes af te romen van het oppervlak, zal het water opgeschoond worden. Als deeltjes iets zwaarder zijn dan het water kunnen deze deeltjes afgeroomd worden door deze deeltjes te laten plakken aan gasbelletjes. Hierdoor wordt hun soortelijk gewicht verminderd. Die gasbelletjes kunnen op diverse manieren in het water gestopt worden. Het kan, door lucht door het water te leiden, maar de voorkeur heeft meestal de lucht in het water te laten oplossen bij hoge druk. Als de druk daarna verminderd wordt tot 1 atm., zal de lucht weer vrijkomen en zullen veel kleine belletjes gevormd worden. Dit proces staat bekend als Dissolved Air Flotation (DAF, figuur 1) [2].



Figuur 1: Dissolved Air Flotation (Engelstalig).

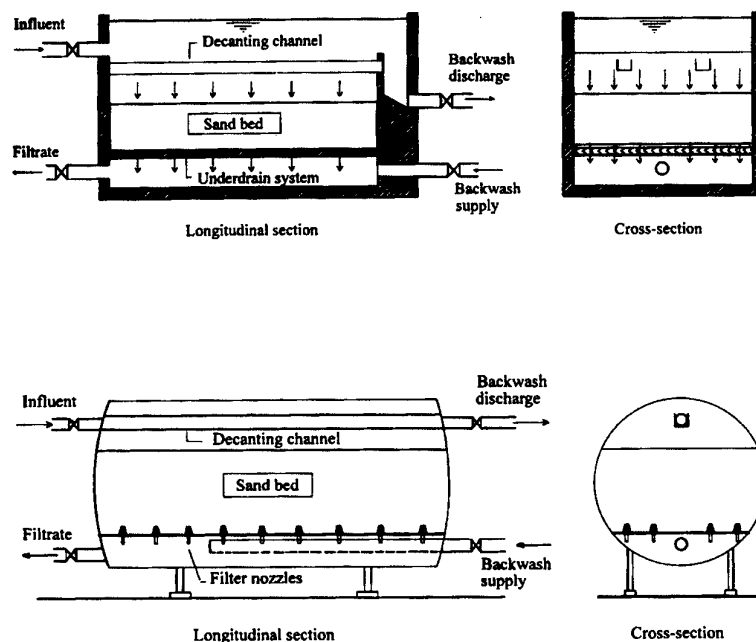
Flotatie wordt onder andere veel gebruikt voor het verwijderen van oliën en vetten uit afvalwater van voedselbereiding, olieraffinage en wasserijen. Ook wordt het gebruikt voor het indikken van sludge.

### 3.2.3 Filtratie

Er zijn zeer veel verschillende typen filters op de markt. Ruwweg zijn ze onder te verdelen in twee typen [2]:

- deep bed-filters;
- oppervlaktefilters.

Traditioneel worden bij waterbehandeling diep bed-filters gebruikt. Deze filters bestaan vaak uit een bed van silicazand, waardoor het water stroomt. In de poriën zal het vuil afgevangen worden. Filters zijn weer regenerereerbaar door water en lucht door te blazen.



Figuur 2: Een zandbedfilter (Diep bed-filtratie) (Engelstalig).

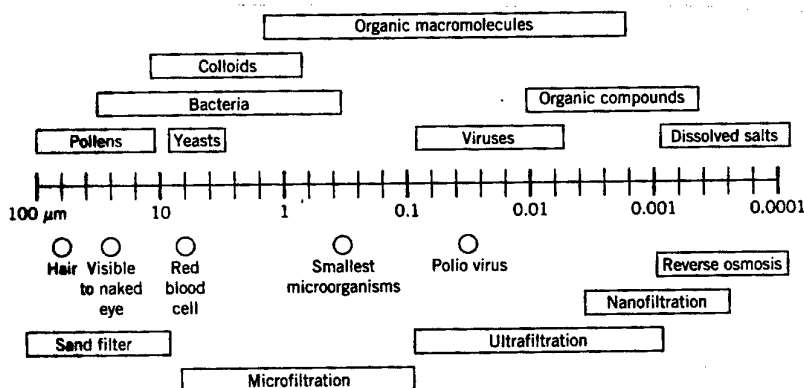
Oppervlaktefilters scheiden de deeltjes van het water door te zeven. Ze bestaan vaak uit textiel of een membraan. Als gevolg van een drukverschil over het filter zal het water erdoor stromen, maar de deeltjes zullen afgevangen worden op het filter.

### Zelfreinigende filters

In principe werkt een zelfreinigend filter hetzelfde als elk ander oppervlaktefilter [3]. Water stroomt door een dubbelwandige buis. De binnenwand van deze buis is gemaakt van poreus materiaal. Het water zal door de wand naar het buitencompartiment stromen, terwijl het vuil met een klein gedeelte van het water in de buis blijft en verder stroomt. Het is echter mogelijk dat de buiswand dichtslibt met vuil. Om die reden is een schraper in de buis aangebracht die continu langs de wand het vuil er vanaf schraapt. De beweging van deze schraper werkt op de mechanische energie van het water (de flow). Dit type filter is in veel diverse maten verkrijgbaar en wordt vooral in de procesindustrie gebruikt.

### Membraanfiltratie

Deze vorm van zuivering is een bijzondere vorm van filtratie. Het vuile water stroomt hierbij langs speciaal membraan. Dit membraan is semi-permeabel voor specifieke stoffen. Het gebruik van membranen in waterzuivering is een vrij nieuwe ontwikkeling, hoewel TNO-PML al diepgaand onderzoek in deze richting heeft gedaan bij de ontwikkeling van een nooddrinkwaterzuivering [4-10]. Deze membranen zijn vaak synthetisch en hebben een bepaalde gedefinieerde poriegrootte, zodat ze erg efficiënt zijn. Membraanfiltratie wordt gebruikt voor het zuiveren van (afval)water van colloïden (kleine deeltjes) en opgeloste bestanddelen in het water [11]. Micro-organismen en opgeloste organische stoffen kunnen ook afgefilterd worden. Sommige membranen zijn zelfs ion-selectief, zodat bijvoorbeeld zware metalen uit het water gefilterd kunnen worden. Afhankelijk van de poriegrootte van het membraan heeft het filterproces een andere naam. De verschillende typen membraanfiltratie zijn: microfiltratie, ultrafiltratie, nanofiltratie en omgekeerde osmose. Deze verschillende typen zijn bedoeld voor verschillende deeltjesgrootten. Dit wordt duidelijk uit figuur 3. Uit dit figuur blijkt ook dat de deeltjes **niet te groot** moeten zijn, omdat anders 'fouling' (dichtslaan) van het membraan **optreedt** [6]. Bij gebruik van membranen in waterzuivering zullen te grote deeltjes **van tevoren afgevangen** moeten worden.



**Figuur 3:** Deeltjesgrootteverdeling van diverse typen vervuiling samen met het type filter dat geschikt is voor die grootte [11] (Engelstalig).

Bij omgekeerde osmose zijn de poriën zo klein, dat het membraan zelfs ion-selectief is. Als gevolg van de osmotische druk (het concentratie verschil) zal schoon water door het membraan willen stromen naar het vuile water. Door een fysische tegendruk op het vuile water te zetten, wordt dit tenietgedaan. Bij een bepaalde overdruk zal het water door het membraan geperst worden naar het schone water toe.

#### 3.2.4 Sedimentatie

In een horizontale flow sedimentatietank stroomt water horizontaal door een tank, terwijl het vuil verticaal bezinkt [2]. In het ideale geval heeft het bezinkproces geen hinder van de horizontale flow. Er zal zich een scherp front vormen van deeltjes in het water. Er wordt aangenomen, dat bij de inlaat van het water de deeltjes en het

water uniform gemengd zijn. Aan de achterkant van de tank zal tot een bepaalde hoogte het water helder zijn als gevolg van bezinking. Dit water wordt gedecanteerd. Er mag totaal geen turbulentie in de tank aanwezig zijn.

### 3.2.5 Anaërobe zuivering

Het in het afvalwater aanwezige organische materiaal kan door anaërobe biomassa omgezet worden in methaan, kooldioxide en water [12, 13]. Het proces is op te delen in de volgende fasen.

- **Hydrolyse**

Biopolymeren zoals eiwitten, vetten en koolhydraten worden hier omgezet tot oplosbare monomeren (aminozuren, vetzuren en suikers). Dit gebeurt onder invloed van enzymen, die uitgescheiden zijn door fermentatieve enzymen.

- **Fermentatie (zuurvorming)**

In deze fase worden de monomeren die in de vorige fase gevormd zijn, omgezet tot waterstof, kooldioxide, ethanol, ammoniak, zwavelwaterstof en vluchtige vetzuren. Door deze omzetting groeit de biomassa.

- **Acetogenese (intermediaire zuurvorming)**

De hierboven gevormde vluchtige vetzuren en het ethanol worden hier omgezet tot acetaat, waterstof en kooldioxide. Ook hier vindt groei van biomassa plaats.

- **Methanogenese**

Uit het acetaat, het kooldioxide en waterstof wordt in deze fase door methanogene bacteriën methaan gevormd. Dit leidt ook tot groei van biomassa.

### 3.2.6 Geactiveerde sludge methode

Afvalwater kan gezuiverd worden door micro-organismen. Deze micro-organismen kunnen in een vat gestopt worden in de vorm van vlokken. Het blijkt, dat bij toename van het aantal vlokken het afvalwater veel sneller gezuiverd wordt als het vat belucht wordt. Dit werd geïnterpreteerd als zou de sludge (de vlokken) geactiveerd worden. Vandaar dat dit proces geactiveerd sludge-proces genoemd wordt. Deze activering komt niet alleen door de goede menging, maar ook doordat het afbraakproces hier aëroob is, in tegenstelling tot anaërobe zuivering.

### 3.2.7 Cyclonen

Een cycloon is een rond vat, dat taps toeloopt. Aan de bovenkant wordt het water met een bepaalde snelheid langs de wand naar binnen geperst. Op die manier ontstaat een draaiing van de vloeistof in het vat. Als gevolg van de centrifugaalkrachten zullen de vaste deeltjes in de vloeistof naar buiten geslingerd worden tegen de wand aan. Deze deeltjes zakken aan de zijkant naar beneden en kunnen aan de onderkant afgevangen worden. Het (schone) water stroomt door een buis in het midden van de cycloon bovenlangs weer naar buiten.

### 3.2.8 Centrifuge

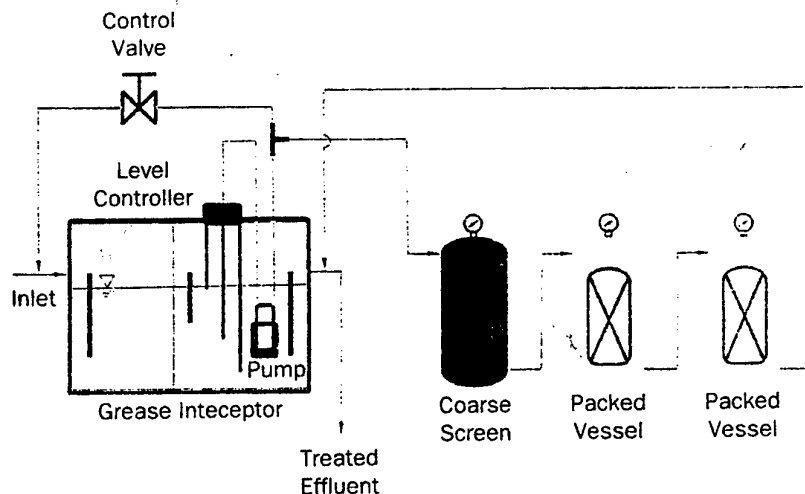
Het principe van een centrifuge is vergelijkbaar met dat van een cycloon. Vuil water wordt in dit geval in een vat gepompt. Het water stroomt aan de buitenkant van een cilinder naar beneden. Deze cilinder draait rond met een zeer hoog toeren-

tal. Er wordt een versnelling van circa 1100 g gehaald. De deeltjes worden tegen de omhullende wand aan geslingerd, terwijl het water meer in het midden bij de cilinder blijft. De deeltjes zullen langs de omhullende wand naar beneden zakken en worden aan de onderkant afgevangen. Het water wordt in het midden afgevangen. De capaciteit van de centrifuge varieert tussen 22,5 l/min en 90 l/min. Deeltjes groter dan 5 micron worden afgevangen.

### 3.2.9 Gecombineerde processen

#### 3.2.9.1 Olie- en vetverwijdering

In Hong Kong wordt circa 50% van al het huishoudelijk afvalwater direct geloosd in rivieren. Er wordt getracht dit percentage te verminderen. Afvalwater van restaurants is een van de afvalwaterstromen, die behandeld kan worden. Er is een waterzuivering ontwikkeld die de oliën en vetten scheidt van het water [14]. Deze oliën en vetten worden affgevangen in een polymeerbed. Het polymeer in het bed heeft een sterke affiniteit met hydrofobe organische stoffen. Het bestaat voornamelijk uit polypropyleen. Dit polymeer lost niet op in water, verandert de pH niet en is geurloos. Verder is het niet toxisch.



**Figuur 4:** Een gecombineerd olie- en vetverwijderingssysteem (Engelstalig).

Water wordt eerst door een scherm geperst zodat de grofst deeltjes achterblijven. Vervolgens wordt het water door een aantal gepakte bedden geleid, die gevuld zijn met het polymeer. Voordat het water echter door het scherm en de bedden gaat, komt het eerst in een groot opvangvat, dat dient als smeerafvang. In dit vat gaat de smeeraf boven drijven terwijl het water onder blijft. Verder dient dit als een soort voorraadvat zodat de uitgaande flow continu kan zijn.

De totale olie- en vetverwijdering ligt tussen de 75% en 85%.

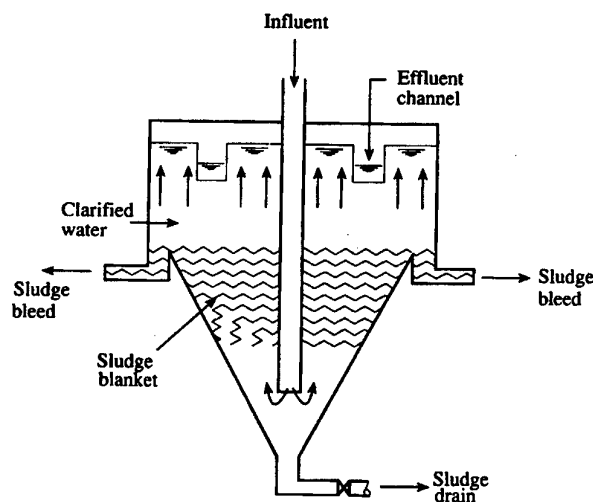
Het is mogelijk om het hydrofobe medium te regenereren. Bij een gemiddeld restaurant zal dat ongeveer elke maand moeten gebeuren.

### 3.2.9.2 Septic tank

De zuivering van een septic tank komt vooral neer op sedimentatie van de bezinkbare producten en het afscheiden van drijvende producten. Het organisch materiaal wordt in geringe mate afgebroken door anaërobe biomassa. Doordat het slib en het water onvoldoende contact hebben vanwege de horizontale waterflow, is deze zuivering onvoldoende [12, 13].

### 3.2.9.3 Flocculatie en sedimentatie

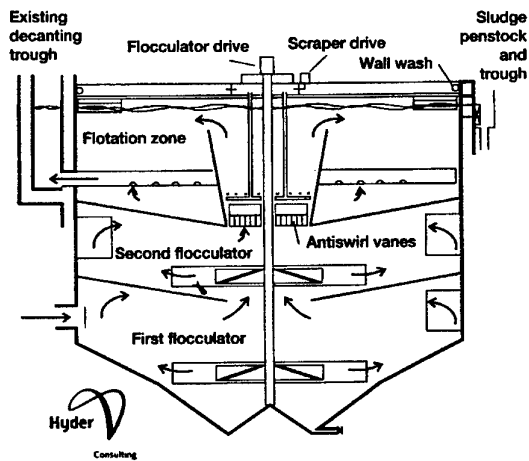
In figuur 5 is een apparaat weergegeven dat flocculatie en sedimentatie combineert [2]. Op de bodem van het apparaat zal een sludge-laag gevormd worden. De inflow van het water is aan de onderkant. Doordat het water onderin ingebracht wordt en naar boven stroomt, zal de sludge-laag gaan fluïdiseren. Er zal een aanzienlijke mate van turbulentie heersen aan de onderkant, zodat de flocculatie bevorderd wordt. Het teveel aan sludge wordt aan de onderkant afgevoerd. Door deze fluïdisatie zal niet alleen de flocculatie bevorderd worden, maar wordt ook de anaërobe zuivering met behulp van de aanwezige biomassa bevorderd. Vergeleken met het proces, zoals plaatsvindt in een septic tank, is het contact tussen het water en de sludge veel beter. Dit bevordert de afbraak van organische materialen. De grens tussen de bovenkant van de sludge-laag en het (heldere) water is vrij scherp. Dit proces staat ook wel bekend als 'Upflow Anaerobic Sludge Blanket' (UASB). De maximale doorzet is circa 1 tot 1,5 m<sup>3</sup>/uur. Met wat aanpassingen is dit te verhogen tot 4 m<sup>3</sup>/uur.



Figuur 5: Een gecombineerd flocculatie- en sedimentatiesysteem (Engelstalg).

### 3.2.9.4 Flocculatie en flotatie

Om ruimte te besparen, is een nieuw apparaat ontwikkeld dat het gecombineerde proces van flocculatie en flotatie op het afvalwater toepast op een derde van het tot nu toe benodigde oppervlak [15]. De verschillende stadia zijn boven elkaar gebouwd (zie figuur 6).



Triple-Deck DAF configuration at Cantref Water Works, designed by Hyder Consulting for Welsh Water

Figuur 6: Een gecombineerd flocculatie- en flotatiesysteem (Engelstalig).

De unit, zoals hierboven is weergegeven heeft een doorzet van  $11 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$ . In totaal kan hij  $31000 \text{ m}^3/\text{dag}$  aan. Het is mogelijk dit proces in bestaande cilindrische apparaten in te bouwen.

### 3.2.9.5 Flotatie en membraanfiltratie

In de voedingsindustrie wordt membraanfiltratie regelmatig toegepast als zuiverings- of opconcentreerstap [16].

Bij wijnfabricage wordt tegenwoordig vaak ultrafiltratie gebruikt voor het klaren van de wijn. De grove deeltjes (bijvoorbeeld zand) worden van tevoren eerst afgevangen met behulp van flotatie.

Vruchtensap wordt vaak eerst geconcentreerd, waarna veel minder product getransporteerd hoeft te worden. Op de plaats van bestemming wordt het concentraat weer aangelengd met water. Het principe van concentreren werkt hetzelfde als in de wijnindustrie. In dit geval is echter de productstroom de stroom die in het wijnproces de afvalstroom was. Eerst worden de grove deeltjes afgevangen met behulp van flotatie, waarna de kleinere deeltjes (colloïden enz.) afgevangen worden met behulp van ultrafiltratie. Er volgt nu echter nog een volgende stap, om de opgeloste suikers en andere opgeloste stoffen af te vangen. Dit gebeurt met behulp van omgekeerde osmose. De grove deeltjes, de kleinere deeltjes en de afgevangen suikers vormen samen het concentraat. De andere stroom is vrij zuiver water dat in dit geval een afvalstroom is.

## 4 Discussie en aanbeveling

Afvalwaterzuiveringen van legerkampen moeten mobiel zijn. Het gevolg hiervan is dat bepaalde typen waterzuivering niet toepasbaar zijn. Zo is bijvoorbeeld een zandfilter veel te zwaar en daardoor niet mobiel. Verder moet ook rekening gehouden worden met het feit dat de afvalwaterverwerking vaak discontinu bedreven wordt. Aërobe en anaërobe zuiveringsstappen zijn dus ook niet toepasbaar; de micro-organismen hebben continu nieuw materiaal als voedsel nodig.

Bezinkbassins zijn uiteraard ook niet te gebruiken.

Mogelijke zuiveringsstappen, die eventueel wel te gebruiken zijn, zijn:

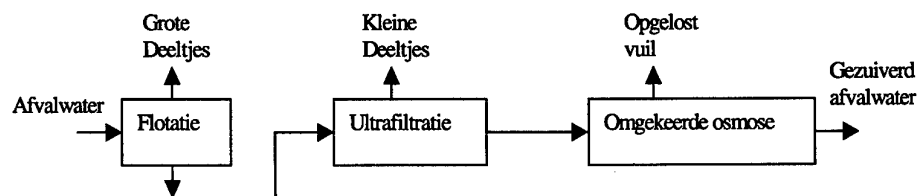
- flocculatie;
- flotatie;
- cyclonen;
- centrifuges;
- filtratie;
- microfiltratie;
- ultrafiltratie;
- omgekeerde osmose.

Het handigst zijn processen die weinig onderhoud vergen. Verder is het handig dat de afvalwaterstroom gescheiden wordt in twee stromen: de slurriestroom en de schoon water stroom. Dat betekent dat deep bed-filters niet geschikt zijn als zuiveringsstap.

Het is nodig om een combinatie van een aantal zuiveringsstappen te gebruiken, aangezien elk type zuivering voor een specifieke vervuiling (bijvoorbeeld bepaalde deeltjesgrootte) bedoeld is.

Met de volgende combinatie van systemen zijn in de voedingsindustrie goede resultaten behaald.

Eerst worden de grote deeltjes afgevangen met behulp van flotatie. Vervolgens worden colloïden en andere kleine deeltjes afgevangen met ultrafiltratie. Als laatste worden opgeloste organische bestanddelen met behulp van omgekeerde osmose verwijderd (figuur 7).



Figuur 7: Flowschema van de voorgestelde verplaatsbare afvalwaterzuivering.



Dit proces lijkt ook voor het hier geproduceerde grijze afvalwater (keukenafvalwater en badwater) goed toepasbaar. Het gezuiverde afvalwater, dat dit systeem produceert, heeft een dusdanige zuiverheid dat het direct geloosd mag worden. Het verdient dan ook aanbeveling om, in het kader van het project waterzuivering, dit systeem nader te bestuderen.

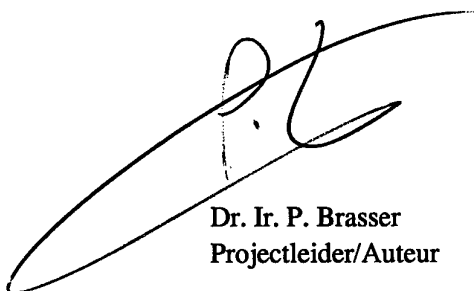
Een andere mogelijkheid in dit kader is om de eerste stap van het hierboven beschreven proces, flotatie, te vervangen door een cycloon, een centrifuge of een zelfreinigend filter. Waarbij een cycloon dan de voorkeur heeft, aangezien die bij goede bedrijfsvoering erg weinig onderhoud vergt. Dit zal echter uit vervolgonderzoek moeten blijken.

## 5 Literatuur

- [1] Henze, M.,  
'Waste design for households with respect to water, organics and nutrients',  
Wat. Sci. Tech. 35, 113 (1997).
- [2] Casey, T.J.,  
'Wiley series in Water resources engineering',  
'Unit treatment processes in water and wastewater engineering',  
Chichester: John Wiley & sons. (1997).
- [3] Filtermat Holland; Specialist op filtergebied,  
Klaaswaal: Filtermat Holland B.V. (1998).
- [4] Vries, I. de,  
'Ontwikkeling van een waterzuiveringssysteem voor noodomstandigheden,  
Deel II : Onderzoek voor het ontwerp van een mobiele drinkwaterinstallatie',  
TNO-rapport PML 1981-22, Rijswijk.
- [5] Vries, I. de,  
'Removal of chemical warfare agents from water by reverse osmosis',  
TNO-rapport PML 1982-24, Rijswijk.
- [6] Schoenmaker, G.J.W.,  
'Onderzoek naar de complexering van ijzer (III) ionen ter voorkoming van ir-  
reversibele vervuiling van de ultrafiltratiemembranen door ijzer (III) hydroxi-  
de',  
TNO-rapport PML 1985-IN9, Rijswijk.
- [7] Vries, I. de en Swieten, S.C. van,  
'Prototype Mobiele Drinkwater Installatie  
Deel I : Technische evaluatie tijdens ontwerp, bouw en beproeving',  
PML 1986-19, TNO-PML, Rijswijk.
- [8] Vries, I. de,  
'Prototype Mobile Drinking-water Unit,  
Part III: The removal of CW agents',  
TNO-rapport PML 1987-19, Rijswijk.
- [9] Vries, I. de en Swieten, S.C. van,  
'Prototype Mobiele Drinkwater Installatie,  
Deel II : Kwaliteitsonderzoek drinkwaterbereiding',  
TNO-rapport PML 1987-44, Rijswijk.

- [10] Vries, I. de en Swieten, S.C. van,  
‘Onderzoek toepasbaarheid M.D.I. voor civiele nooddrinkwater-voorziening’,  
TNO-rapport PML 1988-C 146, TNO-PML, Rijswijk.
- [11] Droste, R.L.,  
‘Theory and practice of water and wastewater treatment’,  
John Wiley & Sons, Inc, New York, 1, 1997.
- [12] Bogte, J.J.; Breure, A.M. en Andel, J.G. van,  
‘Kleinschalige anaerobe zuivering van huishoudelijk afvalwater,  
Praktijkproef met drie UASB-reactoren,  
Interimrapport 3’,  
738518004, Rijksinstituut voor volksgezondheid en milieuhygiene, Bilthoven.
- [13] Bogte, J.J.; Breure, A.M.; Andel, J.G. van en Lettinga, G.,  
‘Kleinschalige anaerobe zuivering van huishoudelijk afvalwater,  
Praktijkproef met drie UASB-reactoren,  
Eindrapport’,  
738518005, Rijksinstituut voor volksgezondheid en milieuhygiene, Bilthoven.
- [14] Chua, H.,  
‘Novel wastewater treatment system for food sites in Hong Kong’,  
Asian water & Sewage 18 (1997).
- [15] ‘Triple-deck design combines two flocculation stages and DAF in existing  
tanks’,  
W. Q. I. 20 (1997).
- [16] Pizzichini, M.,  
‘Membrane technology : Applications to industrial wastewater treat-  
ment’, ‘Membrane application in food industry’,  
Kluwer academic publishers, Dordrecht, 1, 1995.

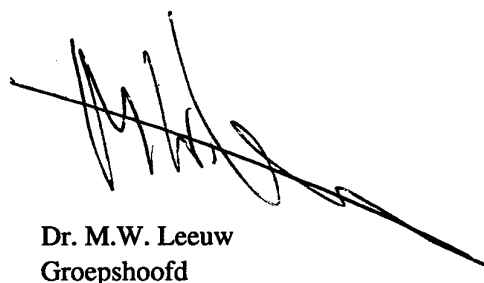
## 6 Ondertekening



Dr. Ir. P. Brasser  
Projectleider/Auteur



S.C. van Swieten  
Auteur



Dr. M.W. Leeuw  
Groepshoofd

---

**REPORT DOCUMENTATION PAGE**  
**(MOD-NL)**

1. DEFENCE REPORT NO. (MOD-NL) TD98-0313	2. RECIPIENT'S ACCESSION NO.	3. PERFORMING ORGANIZATION REPORT NO. PML 1998-A72
4. PROJECT/TASK/WORK UNIT NO. 014.10570	5. CONTRACT NO. A97KL513	6. REPORT DATE June 1999
7. NUMBER OF PAGES 20 (excl. RDP & distribution list)	8. NUMBER OF REFERENCES 16	9. TYPE OF REPORT AND DATES COVERED Final
10. TITLE AND SUBTITLE Wastewater cleaning in army camps (Afvalwaterzuivering in legerkampementen)		
11. AUTHOR(S) P. Brasser and S.C. van Swieten		
12. PERFORMING ORGANIZATION NAME(S) AND ADDRESS(ES) TNO Prins Maurits Laboratory, P.O. Box 45, 2280 AA Rijswijk, The Netherlands Lange Kleiweg 137, Rijswijk, The Netherlands		
13. SPONSORING AGENCY NAME(S) AND ADDRESS(ES) DMKL, P.O. Box 90711, 2509 LS The Hague, The Netherlands		
14. SUPPLEMENTARY NOTES The classification designation Ongerubriceerd is equivalent to Unclassified.		
15. ABSTRACT (MAXIMUM 200 WORDS (1044 BYTE))  At the present moment wastewater of army camps is being drained into the environment. As a result the surroundings of these camps can be quite polluted. Therefore a literature study has been initiated, to study the possible usage of a portable wastewater cleaning plant in these camps. Several different types of cleaning techniques were incorporated into this study. This study created background to recommend a process, which cleans the water in an extend that is can be drained into the environment. This process consists of flotation, ultrafiltration and reversed osmosis. The dirt is removed from the wastewater and can be transported to the nearest waste disposal plant.		
16. DESCRIPTORS Cleaning Environments Military bases Water Waste disposal Waste water		
17a. SECURITY CLASSIFICATION (OF REPORT) Ongerubriceerd	17b. SECURITY CLASSIFICATION (OF PAGE) Ongerubriceerd	17c. SECURITY CLASSIFICATION (OF ABSTRACT) Ongerubriceerd
18. DISTRIBUTION AVAILABILITY STATEMENT Unlimited Distribution		17d. SECURITY CLASSIFICATION (OF TITLES) Ongerubriceerd

Distributielijst \*

- |       |   |
|-------|---|
| 1     | DWOO  |
| 2     | HWO-KL  |
| 3*    | HWO-KLu   |
| 4*    | HWO-KM  |
| 5*    | HWO-CO  |
| 6     | DMKL, Afdeling AU<br>Ing. C. Ros  |
| 7     | DM&P TNO-DO   |
| 8*    | DM&P TNO-DO, accountcoördinator KL  |
| 9*    | TNO-FEL, Bibliotheek  |
| 10/12 | Bibliotheek KMA   |
| 13*   | Lid Instituuts Advies Raad PML<br>BGen. Prof. J.M.J. Bosch  |
| 14*   | Lid Instituuts Advies Raad PML<br>Prof. dr. U.A. Th. Brinkman   |
| 15    | TNO-PML, Directie; daarna reserve   |
| 16    | TNO-PML, Hoofd Divisie Toxische Stoffen<br>Dr. ir. J. Medema  |
| 17    | TNO-PML, Adjunct-hoofd Divisie Toxische Stoffen<br>Dr. M.W. Leeuw   |
| 18/19 | TNO-PML Divisie Toxische Stoffen, Groep Huidbescherming en Risico analyse<br>Ir. P. Brasser en S.C. van Swieten |
| 20    | TNO-PML, Documentatie   |
| 21    | TNO-PML, Archief  |

---

\* De met een asterisk (\*) gemerkte instanties/personen ontvangen uitsluitend de titelpagina, het managementuittreksel, de documentatiepagina en de distributielijst van het rapport.